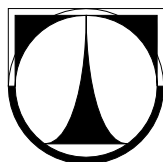


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2011

Bc. Jiří Zvěřina

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

**Návrh a realizace laboratorního zařízení pro testování
čidel vlhkosti**

**Design and Implementation of a Laboratory Apparatus
for Testing of Humidity Sensors**

Bc. Jiří Zvěřina

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 3906T001 – Mechatronika

Pracoviště: Ústav řízení systémů a spolehlivosti

Fakulta mechatroniky, informatiky a
mezioborových studií

Technická univerzita v Liberci
Studentská 2, 461 17 Liberec

Školitel: Ing. Jiří Jelínek Ph. D.

Konzultant: Ing. Miloš Hernych

Rozsah diplomové práce

Počet stran: 42
Počet obrázků: 35
Počet tabulek: 3

Rozsah příloh diplomové práce

Počet stran: 4
Počet obrázků: 0
Počet tabulek: 0

Zadání (1list)

Zadání (2list)

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum 10. 5. 2011

Podpis

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval panu Ing. Jiřímu Jelínkovi Ph. D. za jeho rady a pomoc při vytváření této diplomové práce.

Dále bych rád poděkovat své rodině za maximální podporu během mého studia.

Abstrakt

Návrh a realizace laboratorního zařízení pro testování čidel vlhkosti

Cílem diplomové práce je navrhnout a realizovat laboratorní zařízení pro testování čidel vlhkosti vzduchu s důrazem na názornost v případě využití při výuce. Zařízení je navrženo tak, aby bylo dosaženo stejného prostředí v celé komoře. Zkonstruován byl zvlhčovač a ohřívač vzduchu s nucenou cirkulací vzduchu. Činnost ohřívače i zvlhčovače lze řídit v různých režimech bez nutnosti otevření komory. Je možné například stisknutím tlačítka regulovat dodávku vlhkosti do uzavřeného systému vzduch-voda, ukončit činnost zvlhčovače. Nucená cirkulace je regulována samostatně bez přímé vazby na intenzitu ohřevu. Sběr dat ze senzorů je zajištěn použitím systému ALMEMO, umožňující též aktuálně sledovat parametry vnitřního prostředí. Do cirkulace vzduchu byl přidán přesný senzor teploty PT100, který byl začleněn do měřicího systému ALMEMO. Využit byl software ALMEMO-WIN-CZ, byla vytvořena vhodná šablona. Práce obsahuje již výsledky měření z výuky semináře ke kurzu Měření fyzikálních veličin a jejich srovnání s teoretickými závislostmi relativní vlhkosti na teplotě.

Klíčová slova: vlhkoměry, ALMEMO, měřicí komora, teplotní senzor PT100

Abstract

Design and Implementation of a Laboratory Apparatus for Testing of Humidity Sensors

The goal of this thesis is to design and implement a laboratory device for testing of air humidity sensors with emphasis on demonstrativeness in case of use in the class. The device is designed to attain homogeneous conditions in the whole chamber. A humidifier and an air heater with forced air circulation were engineered. The activity of the humidifier and of the air heater can be operated under various modes without having to open the chamber. For example, a press of a button can regulate humidity supply into closed air-water system, or switch off the humidifier. Forced circulation is regulated independently on the intensity of heating. Data collection from the sensors is provided by the system ALMEMO which also enables to monitor the current parameters of the internal environment. A precise temperature sensor PT100 was added to the air circulation and integrated into the measuring system ALMEMO. The program ALMEMO-WIN-CZ was employed, and a suitable template created. The thesis contains results of measurements obtained during the seminar of the course Measurements of physical quantities, and their comparison with the theoretical dependency of the relative air humidity on temperature.

Keywords: Hydrometers, ALMEMO, measuring chamber, temperature sensor PT100

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	11
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	12
SEZNAM OBRÁZKŮ	13
ÚVOD	15
1 VLHKOST VZDUCHU.....	16
1.1 ZVYŠOVÁNÍ VLHKOSTI.....	16
1.2 SNIŽOVÁNÍ VLHKOSTI	17
1.2.1 Teplotní snížení vlhkosti.....	17
1.2.2 Hygroskopické materiály	18
1.3 ZPŮSOBY MĚŘENÍ VLHKOSTI	18
2 MĚŘICÍ SYSTÉM ALMEMO	20
2.1 ČIDLA POUŽÍVANÁ K MĚŘENÍ VLHKOSTI.....	20
2.1.1 Psychrometrická sonda	20
2.1.2 Kapacitní senzor.....	21
2.1.3 Senzor teploty Pt100	21
2.2 Dataloggery ALMEMO	22
2.3 KONEKTORY ALMEMO.....	23
3 REALIZACE PŘÍPRAVKŮ	24
3.1 ZVLHČOVAČ VZDUCHU	24
3.1.1 Návrh a volba materiálů.....	24
3.2 VYTVOŘENÍ OHŘÍVAČE	26
3.2.1 Návrhy způsobu realizace	26
3.2.2 Realizace vybraného řešení.....	27
3.2.3 Elektrická část ohříváče	29

4	TVORBA MĚŘICÍHO SOFTWARE	31
4.1	VYUŽITÍ SOFTWARE ALMEMO	31
4.1.1	Software AMR Control 5.14.....	31
4.1.2	Software ALMEMO-WIN-CZ.....	32
4.2	KALIBRACE ČIDEL.....	33
5	STAVBA MĚŘICÍ KOMORY	34
5.1	NÁVRH A REALIZACE KOMORY	34
5.1.1	Měřicí komora s regulací vlhkosti vzduchu.....	34
5.1.2	Měřicí komora bez regulace vlhkosti vzduchu	35
5.2	SESTAVENÍ ÚLOHY	36
5.2.1	Měřicí komora s regulací vlhkosti vzduchu.....	36
5.2.2	Měřicí komora bez regulace vlhkosti vzduchu	36
6.	EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	37
6.1	PRVNÍ POKUSNÉ MĚŘENÍ	37
6.2	VÝSLEDNÉ MĚŘENÍ	38
	SHRNUTÍ.....	40
	ZÁVĚR.....	41
	LITERATURA.....	42

Seznam použitých symbolů

U	[V]	elektrické napětí
I	[A]	elektrický proud
P	[W]	výkon
Φ , RV, RH	[%]	relativní vlhkost
t, v	[°C]	teplota
p	[Pa]	tlak
R	[Ω]	elektrický odpor
Φ'	[g*m ⁻³]	absolutní vlhkost
ψ'	[g*kg ⁻¹]	absolutní vlhkost
ρ	[kg*m ⁻³]	hustota

Seznam použitých zkratek

RV,RH	relativní vlhkost
Pt100	platinový odporový teplotní senzor
Pt1000	platinový odporový teplotní senzor
USB	univerzální sériová sběrnice
MPI	multi point interface (vychází z Profibus)
PLC	programovatelný logický automat
BT	bluetooth
M3	označení metrického závitu o průměru 3 mm
U_N	jmenovité napětí
I_N	jmenovitý proud
RS232	sériová linka

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Zvyšování relativní vlhkosti	17
Obrázek 2 - Snižování relativní vlhkosti	17
Obrázek 3 - Ceresit zásobník	18
Obrázek 4 - Ceresit tablety	18
Obrázek 5 - Gravimetrický vlhkoměr	19
Obrázek 6 - Vlasový vlhkoměr	19
Obrázek 7 - kondenzační vlhkoměr	19
Obrázek 8 - psychrometrická sonda.....	20
Obrázek 9 - kapacitní sonda.....	21
Obrázek 10 - Pt100	22
Obrázek 11 - Datalogger 2590-4S	22
Obrázek 12 - zapojení konektoru ALMEMO	22
Obrázek 13 - Zapojení univerzálního konektoru ALMEMO	23
Obrázek 14 - Teflonové víčko	24
Obrázek 15 - Uchycení čidel	24
Obrázek 16 - Zvlhčovač vzduchu	25
Obrázek 17 - ovládací panel zvlhčovače vzduchu.....	25
Obrázek 18 - Spojení skel lepením	26
Obrázek 19 - Spojení skel sešroubováním.....	26
Obrázek 20 - Spodní sklo ohřívače	27
Obrázek 21 - Distanční tyčka.....	27
Obrázek 22 - Čelo ohřívače	28
Obrázek 23 - Úchyt topných těles.....	28
Obrázek 24 - Držák DPS	29
Obrázek 25 - Schéma zapojení Pt100	29
Obrázek 26- Schéma zapojení ventilátoru	29
Obrázek 27 - Schéma zapojení topných těles	29
Obrázek 28 - Ohřívač vzduchu	30

Obrázek 29 - AMR Control	31
Obrázek 30 - Kalibrace Pt100.....	33
Obrázek 31 - Kalibrace čekání na ustálení	33
Obrázek 32 - Větší komora	34
Obrázek 33 - Těsnění komory	35
Obrázek 34 - Menší komora	35
Obrázek 35 - Rozložení větší komory	36

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Jmenovité hodnoty napájení	30
Tabulka 2 - Mezní parametry napájení	30
Tabulka 3 - Teoreticky vypočítaná vlhkost	38

Seznam grafů

Graf 1- Závislost RH na teplotě psychrometr - seznámení	37
Graf 2 - Závislost RH na teplotě kapacitní senzor - seznámení.....	37
Graf 3 - Závislost RH na teplotě psychrometr - nová komora.....	39
Graf 4 - Závislost RH na teplotě kapacitní senzor - nová komora	39

Úvod

Tato práce se zabývá návrhem a realizací měřicí komory pro testování čidel vlhkosti vzduchu. Seznámíme se s metodami měření vlhkosti, používanými čidly a datalogery Almemo od firmy Alhborn.

Jsou řešeny různé aspekty, je možné takovou měřicí komoru pro psychrometrické čidlo vůbec sestavit?

V práci je popsán návrh potřebných přípravků, ohřívače a zvlhčovače vzduchu. V další části práce je popsána kalibrace používaných čidel a jejich propojení s počítačem z důvodu sběru dat.

Celá navržená měřicí aparatura byla následně používána jako laboratorní úloha při výuce seminářů ke kurzům Měřicí technika 2 a Měření fyzikálních veličin. Výuka je vedena pro studenty Technické univerzity v Liberci.

Motivace

- Motivací pro vznik práce byl záměr vytvořit laboratorní aparaturu využitelnou pro kontrolu správné funkce čidel vlhkosti.
- Potřeba nové laboratorní úlohy, která by prezentovala možnosti současných čidel vlhkosti a shodu reálně naměřených hodnot s teoretickým předpokladem.

Cíle práce

- Navrhnout a realizovat laboratorní zařízení pro testování čidel vlhkosti vzduchu s důrazem na názornost v případě využití při výuce.
- Navrhnout a realizovat zvlhčovač vzduchu, který bude dálkově řízen, umožní dodávat a skokově ukončit dodávku vlhkosti do měřicí komory
- Navrhnout a realizovat ohřívač vzduchu s nucenou cirkulací, regulovatelnou samostatně bez přímé vazby na intenzitu ohřevu.
- Aparaturu sestavit s měřicím systémem ALMEMO a vyzkoušet při výuce seminářů ke kurzům Měřicí technika 2 a Měření fyzikálních veličin.

1 Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu je jeden ze sledovaných parametrů nejen v meteorologii, ale například i ve dřevozpracujícím průmyslu, stavebnictví, lékařství a hutnictví. Vlhkost vzduchu stanovuje určité množství vodních par obsažených v daném množství vzduchu.

Vlhkost vzduchu udávají tyto základní vlastnosti:

- **Absolutní vlhkost**

Absolutní vlhkost udává hmotnost vodní páry dané v určité jednotce objemu. Absolutní vlhkost se značí Φ a udává se v $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

- **Relativní vlhkost**

Relativní vlhkost vzduchu je poměr mezi aktuálním množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by obsahoval vzduch při plném nasycení o stejné teplotě a tlaku. Značí se φ , protože se jedná o poměrovou veličinu, udává se v jednotkách %. [8]

- **Rosný bod**

Rosný bod je teplota, při které se vzduch následkem izobarického ochlazování stane nasyceným bez dodání vodní páry zvnějšku. Při poklesu teploty pod teplotu rosného bodu dochází ke kondenzaci vodní páry obsažené ve vzduchu, vytvoří se například rosa či mlha.

- **Sytostní doplněk**

Sytostní doplněk je rozdíl tlaku nasycené vodní páry při určité teplotě vzduchu a skutečného tlaku vodní páry při stejné teplotě.

- **Směšovací poměr**

Směšovací poměr je vyjádřen jako podíl hmotnosti vodní páry k hmotnosti suchého vzduchu v daném objemu vzduchu.

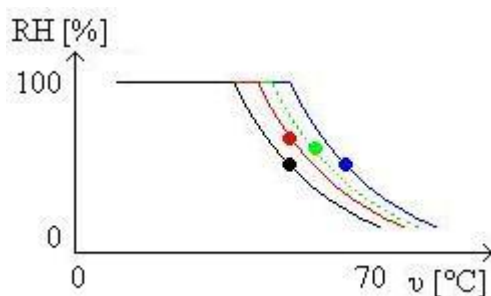
- **Deficit teploty rosného bodu**

Deficit teploty rosného bodu je rozdíl teploty vzduchu a teploty rosného bodu. Deficit teploty rosného bodu je větší v případě malé relativní vlhkosti.[8]

1.1 Zvyšování vlhkosti

Zvyšování vlhkosti je méně energeticky náročné než snižování vlhkosti. I po technické stránce je to jednoduchý děj, který v přírodě probíhá úplně přirozeně, když

z vodních ploch dochází k vypařování vodních par, tímto se nám automaticky zvyšuje relativní vlhkost. Na obrázku 1 je zobrazeno zvyšování vlhkosti. Zvyšování začíná v černém bodě, když vložíme navíc další páru, tak se nám zvýší relativní vlhkost. Ale nepřesuneme se přímo do červeného bodu, protože se nám zvýší i teplota v okolí. Pokud by se nám zvedla jen teplota, tak bychom se dostali do modrého bodu. Ale protože když přidáme páru, tak se nám zvýší teplota i vlhkost, tak se dostaneme do zeleného bodu.

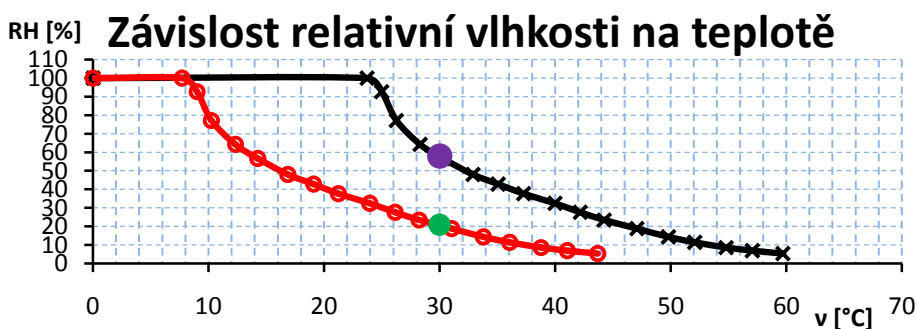


Obrázek 1 - Zvyšování relativní vlhkosti [5]

1.2 Snižování vlhkosti

1.2.1 Teplotní snížení vlhkosti

Na obrázku 2 je vidět fialový bod, který odpovídá relativní vlhkosti 58% a teplotě 30°C. Nacházíme-li se v uzavřeném prostředí, které budeme ochlazovat, bude se zvyšovat relativní vlhkost až na 100% (sledujeme černou křivku). Potom začne pára kondenzovat. Pokud ji zamrazíme a dále budeme prostředí zahřívat, tak budeme sledovat černou křivku, z které je patrné, že při teplotě 30°C bude relativní vlhkost 21% (zelený bod). Tento termodynamický proces je velice energeticky náročný.



Obrázek 2 - Snižování relativní vlhkosti [5]

1.2.2 Hygroskopické materiály

Hygroskopické materiály jsou založeny na základu samovolného jímání vlhkosti za pomoci speciálních hygroskopických solných krystalů. Jedná se o kyselinu sírovou, oxid fosforečný, hydroxid sodný, chlorid hořečnatý, chlorid sodný a chlorid vápenatý. Hygroskopické látky jsou v pevném stavu, když nejsou nasáklé vlhkostí. V případě nasycení mění své skupenství na kapalné.

Průmyslově vyráběné tablety na pohlcování vlhkosti se jmenují Ceresit a vyrábí je firma Henkel. Na obrázku 3 je vidět nádoba přístroje, který má prostor pro tablety, které jsou vidět na obrázku 4 jímací nádobu pro vodní roztok získaný ze vzdušné vlhkosti. Používají se tablety, protože se s nimi lépe manipuluje a navíc lépe pohlcují vlhkost než pelety. Systém Ceresit je schopný za měsíc odebrat cca 600 gramů vody. [2]



Obrázek 3 - Ceresit zásobník [2]



Obrázek 4 - Ceresit tablety [2]

1.3 Způsoby měření vlhkosti

Nejpoužívanějšími průmyslovými vlhkoměry jsou psychrometry a kapacitní sondy, jejich princip je popsán v podkapitole 2.1. Mezi další typy vlhkoměrů patří mechanický (vlasový), gravimetrický, kondenzační apod.

- **Vlasový vlhkoměr**

Tato metoda patří k nejstarším. Hlavním senzorem je odmaštěný lidský vlas, který změní svoji délku o 3% při změně relativní vlhkosti z 0% na 100%. Vztah mezi prodloužením a vlhkostí je zhruba logaritmický. Délková roztažnost bývá převedena pomocí pákového mechanismu na ručičku, která zobrazuje změřenou vlhkost. Velkou výhodou tohoto vlhkoměru je, že s ním lze měřit i pod bodem mrazu. Naopak je vlhkoměr strašně choulostivý a nelze s ním měřit proudící plyny. Možná podoba vlhkoměru je vidět na obrázku 6. [4]

- **Gravimetrický vlhkoměr**

Z metrologického hlediska je absolutním standardem. Princip měření není složitý. Určitý materiál (např. sůl, bavlna, atd.) přijme páru ze známého objemu vzduchu. Při měření se měří přírůstek hmotnosti. Měření je časově náročné hlavně při malé vlhkosti. Vlhkoměr je využitelný jen v laboratořích k ověřování a kalibraci dalších standardů. První zkonstruovaný gravimetrický vlhkoměr se připisuje Leonardu da Vincimu okolo roku 1480, který je na obrázku 5. [6]



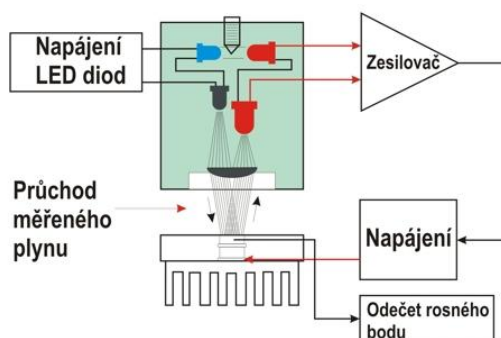
Obrázek 5 - Gravimetrický vlhkoměr [6]



Obrázek 6 - Vlasový vlhkoměr[6]

- **Kondenzační vlhkoměr**

Kondenzační vlhkoměr obsahuje termoelektricky chlazené kovové zrcátko, jehož odrazivost se snímá opticky. Blokové schéma je vidět na obrázku 7. Pokud dojde k orosení → změní se odrazivost a zpětná vazba změní intenzitu chlazení (zvýší, sníží), aby zůstalo zrcátko mírně orosené. Teplota zrcátka se měří čidlem teploty, nejčastěji Pt100 či Pt1000. Vlhkoměr je z principu dlouhodobě stabilní a odolný vůči prostředí. Dosahuje velké přesnosti.



Obrázek 7 - kondenzační vlhkoměr [6]

2 Měřicí systém Almemo

Měřicí systém ALMEMO od firmy Ahlborn pokrývá ucelený systém od napájecích zdrojů, čidel, konektorů, datalogerů a softwaru pro zpracování naměřených hodnot, který bude popsán v kapitole 4 při návrhu měřicí šablony.

2.1 Čidla používaná k měření vlhkosti

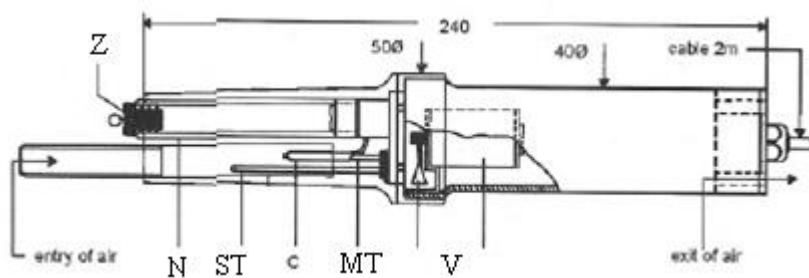
K měření relativní vlhkosti v měřicí komoře se používají 2 čidla. První je psychrometrické a druhé kapacitní. Obě čidla jsou od firmy Ahlborn. Princip měření bude popsán v následujících podkapitolách.

2.1.1 Psychrometrická sonda

Psychrometrická sonda je základním vybavením každé meteorologické stanice. Tato sonda slouží k určení relativní vlhkosti vzduchu, značené RV (relativní vlhkost), RH (relative humidity), která se udává v jednotkách %. Psychrometr se skládá ze dvou teploměrů, suchého a mokrého. Oba teploměry jsou stejného typu. Mokrý teploměr je opatřen bavlněnou punčochou, která je neustále smáčena destilovanou vodou. Odpařováním vody z punčochy dochází k odebírání tepla mokrého teploměru. Z rozdílu teploty suchého a mokrého teploměru lze pomocí psychrometrických tabulek určit vlhkost vzduchu. Pokud bude rozdíl teploměrů nulový, tak je vzduch 100% nasycen. Obecně lze dopočítat výslednou vlhkost podle vzorce 1. [7]

$$v_s - v_m = \frac{p_m'' - p_s'}{Ap_b} \Rightarrow \varphi = \frac{p_m''}{p_s''} - \frac{Ap_b}{p_s''} (v_s - v_m) \quad (1)$$

Kde v_s – teplota suchého teploměru, v_m – teplota mokrého teploměru a p_b – atmosférický tlak jsou naměřené hodnoty, A je konstanta platná, pokud je rychlost proudění $< 2,5\text{m/s}$. Hodnoty p_m'' , p_s' jsou odečteny z psychrometrické tabulky.



Obrázek 8 - psychrometrická sonda [7]

Na obrázku 8 je vidět senzor FN A846, kde jsou zobrazeny všechny jeho části. N – zásobník destilované vody, MT – mokřý teploměr, ST – suchý teploměr, C – bavlněná punčocha, Z – zátka, V – ventilátor. Rozsah tohoto senzoru je od 10% do 100% RV s přesností $\pm 1\%$.

2.1.2 Kapacitní senzor

Kapacitní snímač obsahuje skleněný substrát s vlhkostně citlivou polymerní vrstvou mezi dvěma kovovými elektrodami. Absorpcí vody, která odpovídá změně relativní vlhkosti, dochází ke změně dielektrické konstanty. Výsledná kapacita kondenzátoru se mění. Tyto změny jsou řádově 0,1% z celkové kapacity na %RH, což umožňuje snadné měření. Měřicí signál je přímo úměrný relativní vlhkosti a není závislý na atmosférickém tlaku. Kapacitní senzory jsou vhodnější pro měření vyšších vlhkostí vzduchu, naopak psychrometry pro měření menších vlhkostí. Na obrázku 9 je vidět senzor FHA646, který disponuje s měřicím rozsahem od 5% do 98% RV a s přesností $\pm 2\%$. [7]



Obrázek 9 - kapacitní sonda

2.1.3 Senzor teploty Pt100

Senzory Pt100 jsou v průmyslu velice rozšířenými čidly teploty. Jejich velkou výhodou je lineární charakteristika a velký teplotní rozsah. Běžně prodáváných je od -50°C do 200°C a na zakázku si lze nechat vyrobit senzory s rozsahem -200°C až 600°C . Označení Pt100 znamená, že se jedná o odporový teplotní senzor z platiny a jeho elektrický odpor je 100Ω při teplotě 0°C . Na obrázku 10 je vidět použitý senzor v ohřívači vzduchu. Záměrně byl vybrán tento malý senzor o rozměrech $3,9 \times 1,9 \times 0,9$ mm, aby nedošlo k chybě měření teploty z důvodu vyzařování infračerveného záření z topných těles.

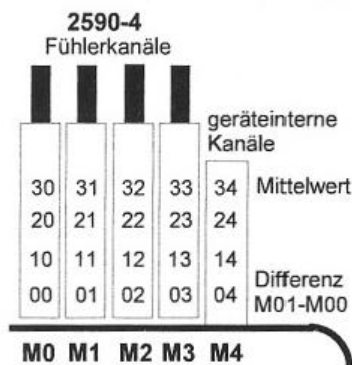


Obrázek 10 - Pt100 [10]

2.2 Dataloggery ALMEMO

Dataloggery ALMEMO se dají rozdělit podle počtu měřicích konektorů na zobrazovací jednotky, přístroje se zabudovanou tiskárnou, ruční (dataloggery) a stolní jednotky a měřicí karty.

Ruční měřicí přístroje mají 1 až 9 vstupů. Nejjednodušší měřicí přístroj nemá ani display pro zobrazení naměřených hodnot a obsahuje jen analogový výstup. Lepší systémy nazývané dataloggery mají zabudované funkce minimálních a maximálních hodnot výsledků měření, sleep mode pro časově dlouhé úlohy. Měřenou hodnotu zobrazují na display. Měřicí přístroj ALMEMO 2590-4 je vidět na obrázku 11. Měřicí přístroj ALMEMO 2590-4 obsahuje 4 měřicí konektory. Každý konektor obsahuje 4 měřicí kanály, jejich číslování je zobrazeno na obrázku 12. Je značeno dvojicí čísel, měřicí kanály jsou od sebe odděleny po 10. Uvedu zde příklad pro první konektor a 3. měřicí kanál, jeho označení bude 20. Ze značení je patrné, že první číslo zobrazuje měřicí kanál a je číslován od 0 do 9. Naopak druhé číslo označuje konektory. [7]



Obrázek 11 Datalogger 2590-4S [11] Obrázek 12 - zapojení konektoru ALMEMO [7]

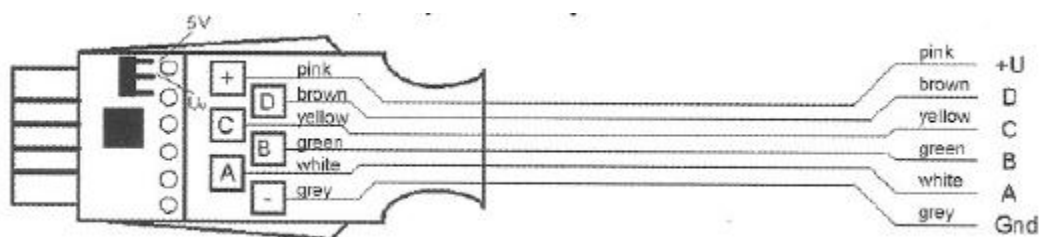
Stolní přístroje mají obdobné funkce jako ruční datalogery, jen obsahují více měřicích konektorů. Měřicí karty jsou rozděleny na moduly. Jeden modul obsahuje 9 vstupů a podle typu můžou mít až 190 vstupů, které jsou zapojeny multiplexovaně.

Měřicí systémy se zabudovanou tiskárnou se používají pro sledování klimatických podmínek a jejich výhodou je, že výsledky měření jsou rovnou vytištěny, což nám ulehčí orientaci v získaných hodnotách.

2.3 Konektory ALMEMO

Na první pohled se zdají všechny konektory stejné, ale firma Ahlborn ošetřila i tu vlastnost, aby uživatel nemohl splést a dát konektor do špatné zdířky. Toto je řešeno rozdílným umístěním pozičního kolíku pro každý druh konektoru.

Měřicí konektory ALMEMO se dodávají buď pro konkrétní aplikaci, jako je měření napětí, proudu, elektrického odporu nebo univerzální, který si uživatel může naprogramovat podle vlastní potřeby. Zapojení univerzálního konektoru je vidět na obrázku 13.



Obrázek 13 Zapojení univerzálního konektoru ALMEMO [7]

Komunikační konektory ALMEMO slouží ke komunikaci mezi jednotkami (datalogery, měř. kartami, ústřednami) nebo jednotkou a počítačem. Komunikace je založena na protokolu sériové linky RS232, kde dosahujeme maximální přenosové rychlosti 115,2 kbaudů. Pokud nám tento způsob přenosu dat nevyhovuje, můžeme použít převodníky na jiný přenosový způsob, mezi které patří analogový výstup, modem, USB redukce RS232, optický a drátový ethernet. Převod pro průmyslový protokol RS422, RS485, MPI pro komunikaci zejména s PLC systémy. Poslední možností je i bezdrátový modul BT. Dále lze zapojit na komunikační konektor, některé běžně zavedené a k měření používané standardy, mezi které patří analogový výstup, Trigger (s nastavením začátku, konce měření) a přímo i zabudované relé.

Poslední skupinu tvoří napájecí konektory, které napájí dataloger či ústřednu a na ně připojená čidla či komunikační moduly. [7]

3 Realizace přípravků

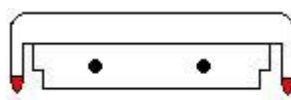
3.1 Zvlhčovač vzduchu

S měřením vlhkosti vzduchu, jsem se setkal nejprve při výuce měřicí techniky 2 a následně během své bakalářské práce, kde vznikl řízený zvlhčovač vzduchu. Nejzajímavější části jsou citovány v této podkapitole.

3.1.1 Návrh a volba materiálů

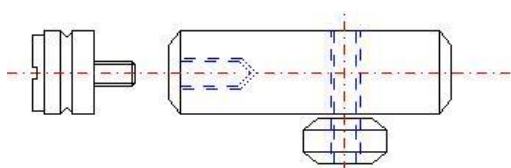
Cílem mé bakalářské práce bylo vytvořit přípravek zvlhčovače vzduchu. Při výběru materiálu byly brány na vědomí faktory změny teploty během měření a hlavně vysoká vlhkost vzduchu. Proto se používaly materiály nepodléhající korozi, které jsou nerez oceli a plasty. Celá práce se dá rozdělit na mechanickou a elektrickou. Do mechanické části bylo potřeba navrhnout a vyrobit uzavřený kryt vaničky s automaticky ovládanými dvířky a potřebnými úchyty čidel. Do elektrické části patří napájení topné spirály, měřicí a ovládací obvody. Ovládací obvody tvoří hlavní vypínač a tlačítka na přidání a ubrání výkonu a ovládání dvířek.

Po změření rozměrů vaničky byl navržen rozměr krabičky. Její velikost je 61x65x103mm s tím, že ve vzdálenosti 67mm od jedné stěny se vytvořila přepážka. Má za úkol ochránit konektory před vlhkostí. Tato krabička je seshora uzavřena teflonovou destičkou. Tato destička je úmyslně vyrobena z teflonu, aby po ní mohla přímo jezdit dvířka s minimálním třením. Náčrt teflonového víčka je na obrázku 14.



Obrázek 14 - Teflonové víčko [5]

Zaoblené výstupky na krajích teflonu mají funkci vedení dvířek. Z vrchu krytu je výřez 30,5x35mm na odpar vody při otevřených dvířkách. V teflonovém víčku jsou zabudovány úchyty indukčních čidel. Tato čidla se dají nastavit o $\pm 2\text{mm}$ na každou stranu. Induktivní čidla jsou zašroubována ve válečku a pomocí šroubku se dají posouvat. Na obrázku 15 je zobrazen princip uchycení čidel.



Obrázek 15 - Uchycení čidel [5]

Na pohon dvířek je použit stejnosměrný motorek se zabudovanou převodovkou. Na výstupní hřídel motorku byl našroubován pastorek, který byl koupen v modelářských potřebách. Průměr díry v pastorku je závit M3, který má po obvodě 12 zubů. Pastorek je z mosazi. Na soustruhu se vyrobil hřeben. Materiál pro výrobu hřebenu byl zvolen dural, protože pro mechanické soukolí se doporučuje volit jiné materiály hřebenu a pastorku. Zuby se zužovaly a prohlubovaly tak dlouho, dokud v nich nejezdil pastorek volně. Když se povedlo vyrobit hřeben přesně na pastorek, tak se musel vyrobit kryt tohoto spoje. Kryt nám drží motor v dané poloze a ještě navádí hřebínek do zubů pastorku. Kryt byl vyroben z mosazné tyče. Pomocí soustruhu byl obroben na obdélníkový tvar. Následně se do něj svrtaly díry. Na obrázku 16 je vidět celý zvlhčovač vzduchu.



Obrázek 16 - Zvlhčovač vzduchu

Na obrázku 17 je vidět ovládací panel zvlhčovače vzduchu, ve kterém je schována celá elektrická část.



Obrázek 17 - ovládací panel zvlhčovače vzduchu [5]

3.2 Vytvoření ohříváče

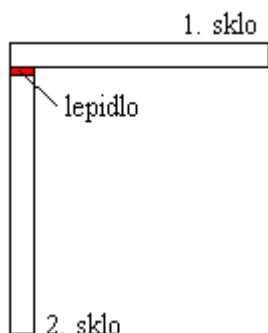
Při realizaci ohříváče vzduchu byly použity materiály, které jsou schopny odolávat drsným podmínkám v měřicí komoře, mezi které patří vysoká vlhkost a změna teploty. Pro názornost při výuce je tělo ohříváče ze skla, aby si studenti uvědomili, jak jednoduše se dá pomocí odporové topné spirály ohřívat vzduch.

3.2.1 Návrhy způsobu realizace

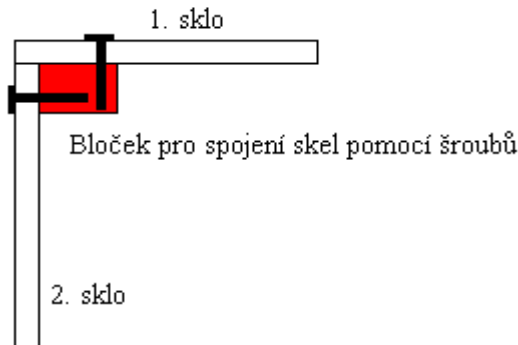
Při návrhu bylo promyšleno více variant spojení skel. Možné spojení skel bylo slepením, které je vidět na obrázku 18 nebo sešroubováním.

- Slepený tubus ohříváče vzduchu

Po důsledném promyšlení byla zavržena z důvodu nestejných tvarů a rozměrů běžně ručně řezaných skel. Výsledný tubus by působil špatným dojmem. Následně by bylo problematické přidělení topných spirál a ventilátoru, protože by se na každý úchyt musely vyvrtat minimálně 2 díry do skla. Z toho důvodu je patrné, že by bylo každé sklo jiné, tedy nezaměnitelné, což není praktické z důvodu poškození skla při realizaci či provozu.



Obrázek 18 - Spojení skel lepením



Obrázek 19 - Spojení skel sešroubování

- Šroubovaný tubus ohříváče vzduchu
 - Pomocí bločků

Způsob realizace pomocí bločků se závity je lepší než lepení, ale nejevil se jako nejlepší. Z důvodu velkého počtu děr v okrajích skel, což by zbytečně prodražilo výrobu. Možný návrh je vidět na obrázku 19.

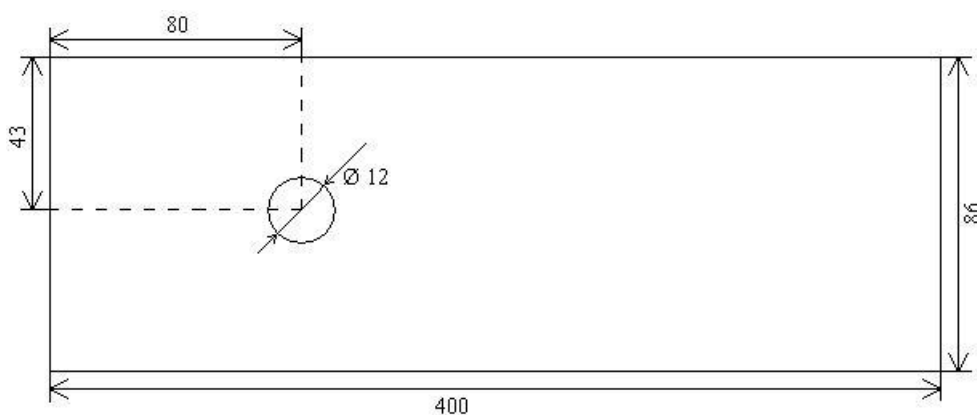
- Pomocí distančních tyček

Jako nejlepším technickým řešením se mi jevilo sešroubovat tubus pomocí 2 čelních panelů propojených distančními tyčkami. Skla nemusí být vrtána z důvodu

spojení, protože v žádané poloze je drží panely a navíc na distanční tyčky se dobře přidělají spirály, ventilátor a ochranné mřížky. Toto řešení má také za následek stejný rozměr všech skel.

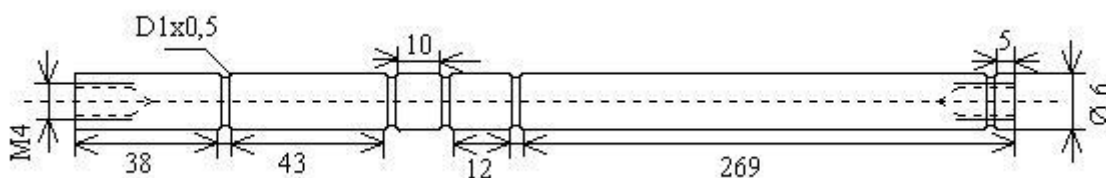
3.2.2 Realizace vybraného řešení

Tělo se skládá ze čtyř skel, která mají rozměry 5 x 86 x 400 mm, jejich hrany jsou zabroušené. V jednom ze skel je vyvrtána díra o průměru 12 mm, jak je vidět na obrázku 20, která je opatřena průchodkou ze silonu, kde jsou vyvedeny napájecí kabely.



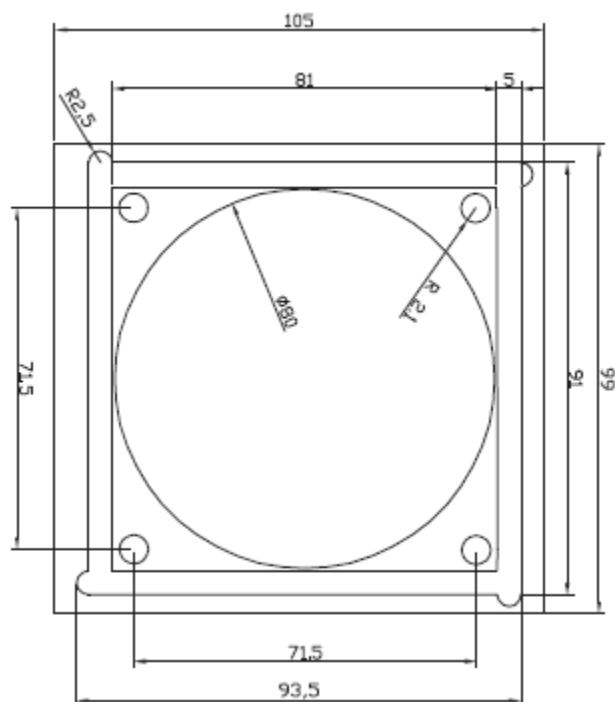
Obrázek 20 - Spodní sklo ohřívače

Dále bylo potřeba vyrobit dva čelní rámečky a distanční tyčky, které jsou vyrobeny z nerez oceli a tvoří zároveň vymezovače polohy ventilátoru, držáků DPS a topných těles. To bylo vyřešeno pomocí drážky a pojistného hřídelového kroužku. Náčrtes distanční tyčky je vidět na obrázku 21.



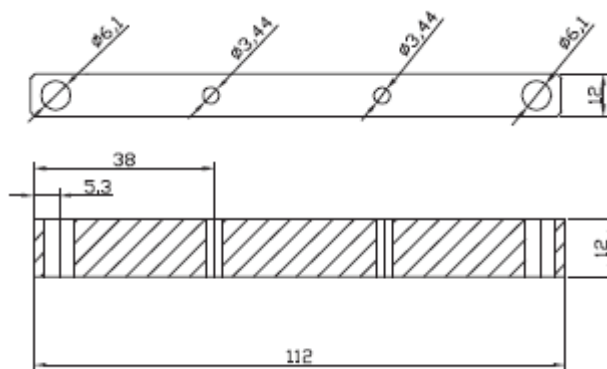
Obrázek 21 - Distanční tyčka

Rámečky jsou obdélníkového tvaru, jak je vidět na obrázku 22. Uprostřed je vysoustružena díra o průměru 80 mm. Po obvodě jsou vyfrézované drážky pro zafixování polohy skel. V rozích jsou vyvrtány díry o průměru 4,2 mm pro průchod šroubů. Pomocí šroubů přichytíme ochrannou mřížku a sešroubují se čelní rámečky s distančními tyčkami.



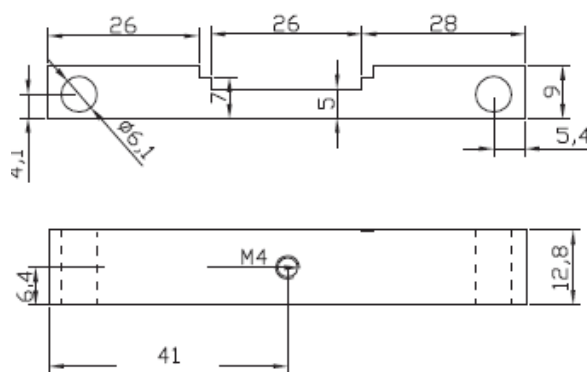
Obrázek 22 - Čelo ohříváče

Na obrázku 23 je vidět držák topných těles, který tvoří teflonové sloupky a duralové čepy, které jsou zastrčeny do teflonu a díry v keramickém nosiči topného tělesa.



Obrázek 23 - Úchyt topných těles

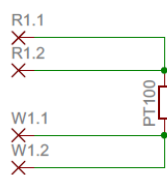
Tištěný spoj bylo potřeba uchytit, což jsem udělal pomocí teflonového držáku, ve kterém se vyfrézovala drážka a vyřízl závit M4. Pomocí šroubu se DPS upevní k držáku. Na obrázku 24 je náčrt držáku DPS.



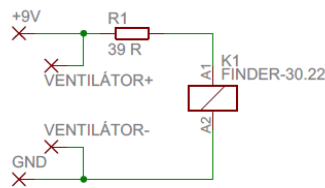
Obrázek 24 - Držák DPS

3.2.3 Elektrická část ohřívače

Elektrická část se dá rozdělit na měřicí, ovládací a silovou část. Do měřicí části patří odporový teplotní senzor Pt100. Schéma zapojení je vidět na obrázku 25. V obvodě je zapojen čtyřvodičovou metodou pro eliminaci odporu propojovacích vodičů. Na svém konci je opatřen Almemo konektorem.



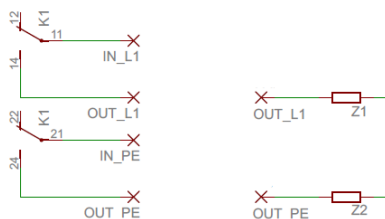
Obrázek 25 - Schéma zapojení Pt100



Obrázek 26- Schéma zapojení ventilátoru

Ovládací část tvoří vstupní napájecí konektor, na který se přivádí stejnosměrné napětí 9 V z laboratorního zdroje, které nám spustí ventilátor a sepne relé. K relé je do série zařazen odpor, aby na cívce bylo jmenovité napětí 5 V. Schéma zapojení je vidět na obrázku 26.

Silovou část tvoří přívodní síťový kabel, spínací kontakty relé a topné spirály. Záměrně byly vybrány spirály o výkonu 750 W. Jsou zapojeny do série, tím dojde sice ke snížení jejich výkonu, ale to vyhovuje měření, protože nedochází k tak rychlému ohřevu vzduchu, což má za následek rovnoměrnou teplotu v měřicí komoře. Schéma zapojení je vidět na obrázku 27.



Obrázek 27 - Schéma zapojení topných těles

Jmenovité parametry napájení jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 – Jmenovité hodnoty napájení

	U_N [V]	I_N [mA]	P_N [W]
Topné spirály	230 AC	1758	400
Ovládací relé a ventilátor	9 DC	650	5,9

Povolené meze napájení ovládacího relé a ventilátoru jsou stanoveny v tabulce 2. Maximální napájecí napětí topné spirály je 230 V.

Tabulka 2 - Mezní parametry napájení

	U_{MIN} [V]	I_{MIN} [mA]	U_{MAX} [V]	I_{MAX} [mA]
Ovládací relé a ventilátor	7	500	12	900

Tyto meze byly vybrány na základě měření, které ukázalo, že ventilátor se rozeběhne od 3 V a relé přitáhne při 5,5 V. Napětí odpadu relé je 1 V. Teplota okolního vzduchu by neměla překročit 70 °C z důvodu dlouhodobé životnosti ventilátoru. Dle datasheetu může ventilátor pracovat i při teplotě 90 °C. Pracovní teplotu jsem určil podle doporučení datasheetu 70 °C.

Při jmenovitém napájení je teplotní rozdíl nasávaného a vyfukovaného vzduchu, tedy teplotní spád 12 °C. Na obrázku 28 je vidět výsledný ohřívač vzduchu.



Obrázek 28 - Ohřívač vzduchu

4 Tvorba měřicího softwaru

Jedním z cílů této práce bylo zautomatizovat sběr naměřených hodnot vlhkosti vzduchu, aby se studentům zjednodušilo vyhodnocování výsledků a mohlo docházet k okamžitému zobrazování měřeného průběhu. Při tvorbě softwaru se nabízely dvě cesty. První byla naprogramovat si vlastní software např. v jazyce C#. Nebo použití softwaru ALMEMO-WIN-CZ, který dodává firma Ahlborn ke svým dataloggerům. Pro měření relativní vlhkosti vzduchu stačí použít software ALMEMO, ale jejich software není vhodný pro rychle se měnící děje.

4.1 Využití softwaru ALMEMO

4.1.1 Software AMR Control 5.14

Pro naprogramování měřicích konektorů ALMEMO se používá program AMR Control 5.14, kde je na obrázku 29 zobrazen výpis všech čidel připojených k danému dataloggeru. Např. na dataloggeru 2590-4S je připojeno čidlo vlhkosti a teploty.

1. Connector	2. Meas. point	3. Range	4. Dim	5. Comment	6. LV Max	LV Min	Base	Factor	Exp	Zero Corr	Slope	7. Lock	Serial	Next calibration	Interval-months
1. RH 0 FH A646 C	M00	% RH	%H		---	---	---	---	---	+0	---	---	7		
1. TEMP 1 ZA 9030 FS1	M01	P204	°C	teplota	---	+000.00	+000.00	---	---	+0	---	---	7		

Obrázek 29 - AMR Control

V 1. kolonce vidíme, kolik máme připojených konektorů, a kolik mají aktivních měřicích kanálů. 2. je adresa čidla. 3. je rozsah daného čidla. 4. je jednotka měření. 5. si můžeme zapsat vlastní komentář, abychom se vyznali v čidlech, když jich je více stejných. 6. se nastavuje kalibrační offset. 7 je zamčení čidla, kde 0 je nejmenší zabezpečení, které nám dovoluje měnit nastavení čidla i pomocí dataloggeru, a naopak 7 je nejvyšší zabezpečení, které nám povolí měnit nastavení čidla jen AMR Controlem.

Pokud si rozklikneme daný měřicí kanál, lze úplně přesně nastavit dané čidlo. V rozsahu popsaném výš plus jsou přidány další funkce jako je výstupní formát měření, kalibrační faktory, meze výstupu, funkce minima a maxima.

4.1.2 Software ALMEMO-WIN-CZ

Pro měření se používá software ALMEMO-WIN-CZ, jehož licenci vlastní Technická univerzita v Liberci. Nejprve bylo potřeba vytvořit měřicí šablonu, ve které se nastavily všechny parametry čidel využívaných k měření vlhkosti vzduchu, mezi které patří číslo měřicího kanálu, nastavení jednotky a druhu (rozsahu) čidla. Velikou výhodou toho softwaru je jeho velice jednoduchá obsluha. Momentálně se vyskytl menší problém s ukládáním nově naměřených hodnot. Software neuloží automaticky jen poslední naměřené hodnoty, ale i hodnoty uložené v šabloně z předešlých měření. Pokud chceme tento problém odstranit, nesmíme po měření ukládat naměřené hodnoty ale uložit je jako novou šablonu a následně si otevřít referenční šablonu a zahájit nové měření. Při takovémto postupu se zaručeně uloží vždy jen naměřené hodnoty z posledního měření. Při řešení toho problému se společností Ahlborn byla vytvořena dohoda s hlavním programátorem programu ALMEMO-WIN-CZ panem Ing. Adamem Holubem, že Ahlborn zajistí doprogramování funkce pro mazání naměřených hodnot z předešlých měření, takže se vždy uloží jen naposledy naměřené hodnoty. To je pro uživatele při práci či žáky při výuce komfortnější, než nyní používané provizorní řešení. Na obrázku je vidět první pokusná šablona jen pro kapacitní čidlo vlhkosti i s grafem průběžného měření.

- **Šablona pro kapacitní senzor (malá komora)**

V této šabloně se měří jen teplota pomocí Pt100 a relativní vlhkost pomocí kapacitního senzoru FHA646. Výstupem měřicí šablony jsou naměřené hodnoty vlhkosti a teploty, ze kterých se dá zobrazit pokles relativní vlhkosti v závislosti na teplotě a porovnat s teoreticky dopočítanou křivkou a graf závislosti vlhkosti a teploty na čase.

- **Šablona pro kapacitní senzor a psychrometr (velká komora)**

V této šabloně se měří teplota pomocí Pt100 a relativní vlhkost pomocí kapacitního senzoru FHA646 a psychrometru FN A846. Výstupem měřicí šablony jsou naměřené hodnoty vlhkosti a teploty, ze kterých se dá zobrazit pokles relativní vlhkosti v závislosti na teplotě a porovnat s teoretickými dopočítanými křivkami a graf závislosti vlhkostí a teploty na čase.

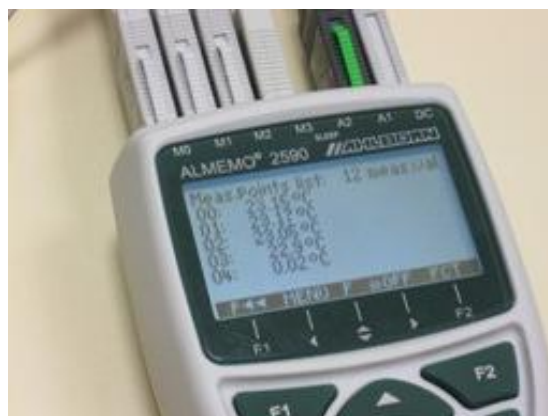
Obě šablony jsou součástí diplomové práce a jsou vloženy na CD-ROMU.

4.2 Kalibrace čidel

Kalibrace čidel se provádí pomocí dodávaných referenčních čidel, která jsou přesně kalibrována a po určité době přecejchována. V mé diplomové práci bylo zapotřebí kalibrovat přesný platinový teplotní senzor Pt100, který se nachází v ohřívači vzduchu.



Obrázek 30 - Kalibrace Pt100



Obrázek 31 - Kalibrace čekání na ustálení

Při kalibraci byly vloženy 2 referenční snímače, i když by stačil jen jeden, do menší měřicí komory (na obrázku 30) a oba teplotní senzory, které bylo potřeba zkalibrovat. Následně se měřicí komora uzavřela a pustily se ventilátory, aby došlo k rychlejšímu ustálení teploty v komoře. Kalibrační teploměry se ustálily na skoro stejné teplotě (obrázek 31). Rozdíl kalibračního teploměru a příslušného senzoru Pt100 se bral jako rozdíl, o který je potřeba senzory kalibrovat. A nastavil se jako offset snímače. Jelikož je charakteristika Pt100 lineární, stačilo ustálení jediné teploty a následně se postupným ohřevem jen zkontrolovalo, jestli daný rozdíl odpovídá celému měřenému rozsahu.

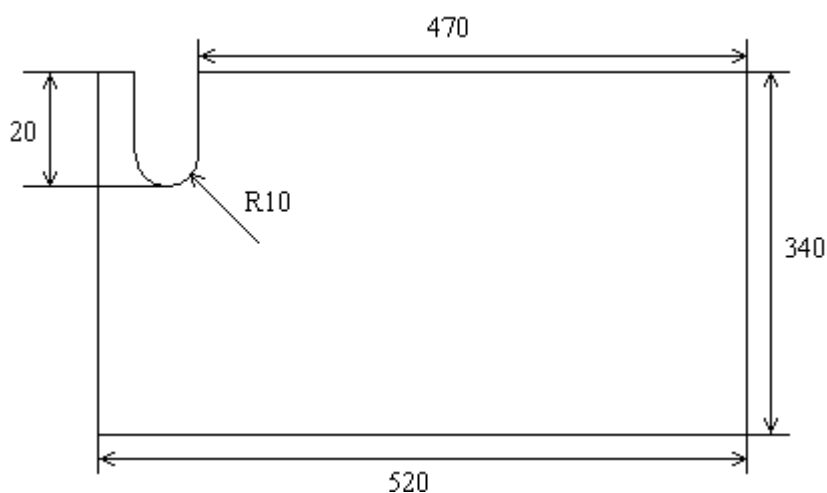
5 Stavba měřicí komory

5.1 Návrh a realizace komory

Pro názornost a vyzkoušení si změřit relativní vlhkosti vzduchu, bylo potřeba navrhnout a realizovat měřicí komoru. Z důvodu absence druhého řízeného zvlhčovače vzduchu byly navrženy dvě varianty měřicích komor. Jejich velikost a rozložení zařízení je popsáno v následujících podkapitolách.

5.1.1 Měřicí komora s regulací vlhkosti vzduchu

Větší z měřicích komor, která obsahuje kapacitní a psychrometrický senzor vlhkosti vzduchu a ohřívač vzduchu s nucenou cirkulací vzduchu, který zajišťuje stejnou teplotu v komoře. Je doplněn o teplotní senzor Pt100 a zařízení pro řízené zvlhčování vzduchu. Po rozložení všech částí komory byly určeny výsledné rozměry měřicí komory, které jsou 34 x 52 x 30 cm, jak je vidět na obrázku 32.



Obrázek 32 - Větší komora

Jako materiál pro výrobu bylo zvoleno sklo, aby studenti viděli celý proces měření vlhkosti vzduchu. V levém horním rohu je vyfrézovaná drážka pro přívod napájecích a měřicích kabelů. Její velikost musela být určena velice přesně, aby nedocházelo k samovolnému úniku vlhkosti z komory do laboratoře. Proto také bylo potřeba utěsnit víko komory s vanou komory. Jako nejvhodnější se jevilo samolepící těsnění do oken, ve tvaru D z gumy, aby nedocházelo k absorpci vlhkosti do těsnění, které je vidět na obrázku 33.

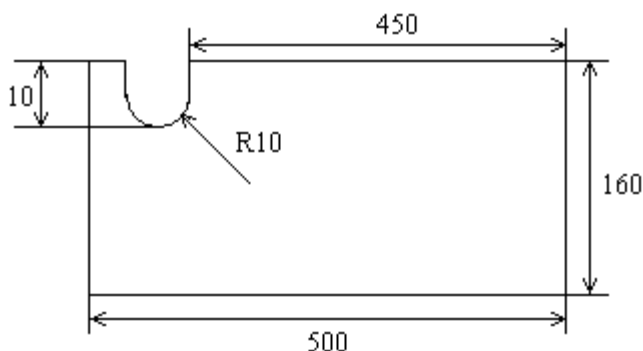


Obrázek 33 - Těsnění komory

Víko měřicí komory má rozměry 55 x 33 cm, tedy přesahuje 1,5 cm na každou stranu komory, což má za následek snadnou manipulaci s víkem při skládání měřicí úlohy.

5.1.2 Měřicí komora bez regulace vlhkosti vzduchu

Menší z měřicích komor, která obsahuje kapacitní senzor vlhkosti vzduchu a ohříváč vzduchu s nuceným oběhem vzduchu, který zajišťuje stejnou teplotu v komoře. Je doplněn o teplotní senzor Pt100. Určené výsledné rozměry měřicí komory jsou 16 x 50 x 22 cm, jak je vidět na obrázku 34.



Obrázek 34 - Menší komora

Víko měřicí komory má rozměry 53 x 25 cm. Obě komory byly vyrobeny ve firmě Brilant v Jablonci nad Nisou. Skla van komor jsou slepeny silikonovým lepidlem černé barvy. Všechny hrany jsou z bezpečnostních a estetických důvodů zabroušené. Na obrázku je zobrazena výsledná měřicí komora. V této měřicí komoře nelze měřit od libovolné vlhkosti, ale jen od vlhkosti v laboratoři, protože neobsahuje zařízení pro zvlhčování vzduchu. Ve větší komoře lze nastavit relativní vlhkost vzduchu na hodnotu až 100% RV, ale z důvodu nižší meze kapacitního senzoru vlhkosti je doporučené nastavovat maximálně 95% RV.

5.2 Sestavení úlohy

5.2.1 Měřicí komora s regulací vlhkosti vzduchu

Na obrázku 35 je vidět výsledek měřicí komory s rozmístěním prvků pro měření vlhkosti vzduchu. 1. – Psychrometrická sonda, 2. – Kapacitní senzor, 3 – Zařízení pro řízené zvlhčování vzduchu, 4. – Ohříváč vzduchu. Toto rozmístění má svůj význam. Sondy vlhkosti měří zhruba ve stejném bodě. Dodaná pára je pomocí nucené cirkulace vzduchu rovnoměrně rozmístěna v komoře a tím by nemělo docházet k naměření špatných hodnot vlhkosti vzduchu.



Obrázek 35 - Rozložení větší komora

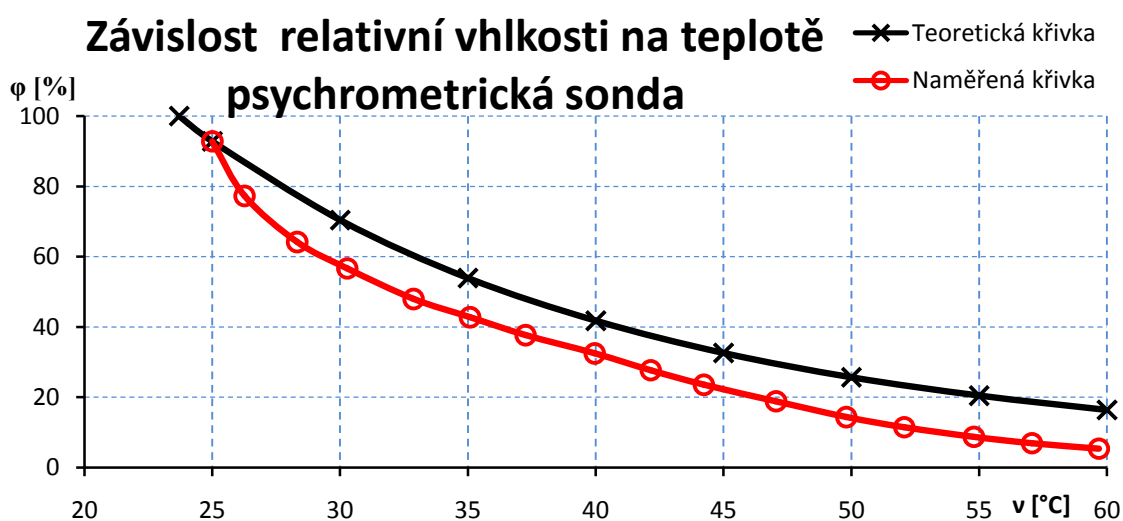
5.2.2 Měřicí komora bez regulace vlhkosti vzduchu

Tato měřicí komora postrádá zařízení pro řízené zvlhčování vzduchu, protože byl vyroben jen jeden funkční vzorek. Z toho důvodu může mít také menší rozměry, protože obsahuje jen kapacitní senzor a ohříváč vzduchu.

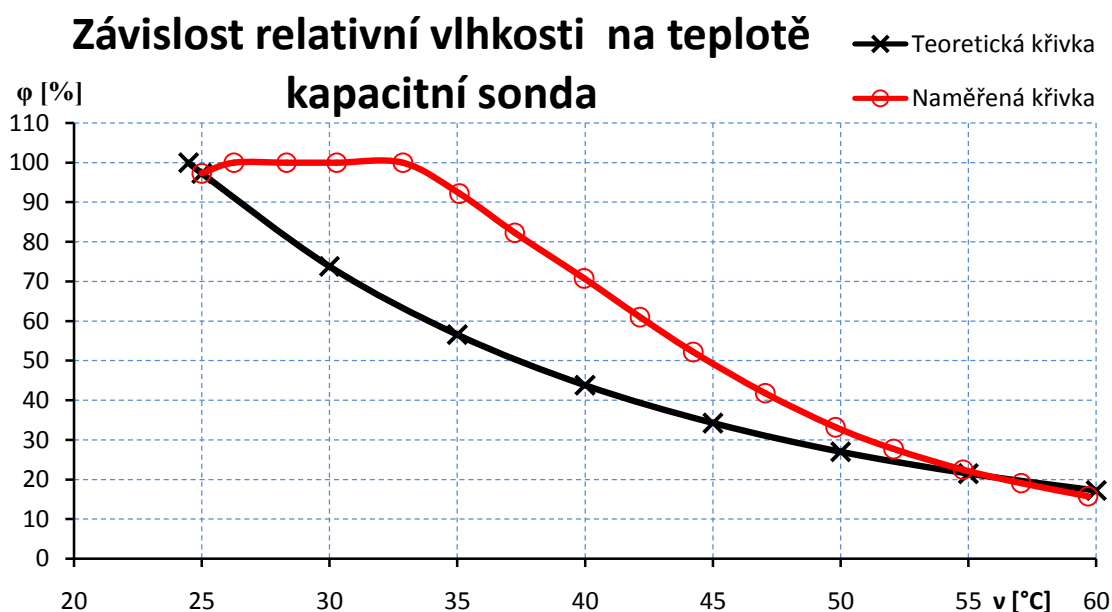
6 Experimentální měření

6.1 První pokusné měření

Toto měření proběhlo již při realizaci mé bakalářské práce, kdy jsem zkonstruoval zvlhčovač vzduchu. Výsledky tohoto měření nedosáhly uspokojivých výsledků, a proto jsem pokračoval během své diplomové práce na jejich odstranění. Znamenalo to vytvořit novou měřicí komoru a ohřívač vzduchu. Toto měření proběhlo 22.4.2009 v laboratoři A-TK8.



Graf 1- Závislost RH na teplotě psychrometr - seznámení



Graf 2 - Závislost RH na teplotě kapacitní senzor - seznámení

6.2 Výsledné měření

Vyzkoušení měřicí komory proběhlo v laboratoři A-TK8, během semináře kurzu Měření fyzikálních veličin. Do měřicí komory se umístil zvlhčovač vzduchu, ohříváč vzduchu, psychrometr a kapacitní senzor vlhkosti vzduchu. Teplota byla na počátku v měřicí komoře 22,2°C. Barometrický tlak byl 965hPa. Psychrometr FN A846 ukazoval $\varphi_p = 91,6\%$. Kapacitní senzor

FH A646-E1C ukázal $\varphi_k = 93,1\%$. Z těchto parametrů se dopočítala absolutní vlhkost Φ_p' a Φ_k' pro použité senzory.

Absolutní vlhkost Φ_p' pro psychrometrický senzor se spočítá podle vzorce:

$$\varphi = \frac{\Phi'}{\Phi''} \Rightarrow \Phi_p' = \frac{\varphi * \Phi''}{100} = 18,00 \text{ gm}^{-3} \quad v_r = 20,7^\circ \text{C}$$

Absolutní vlhkost Φ_k' pro kapacitní senzor se spočítá podle vzorce:

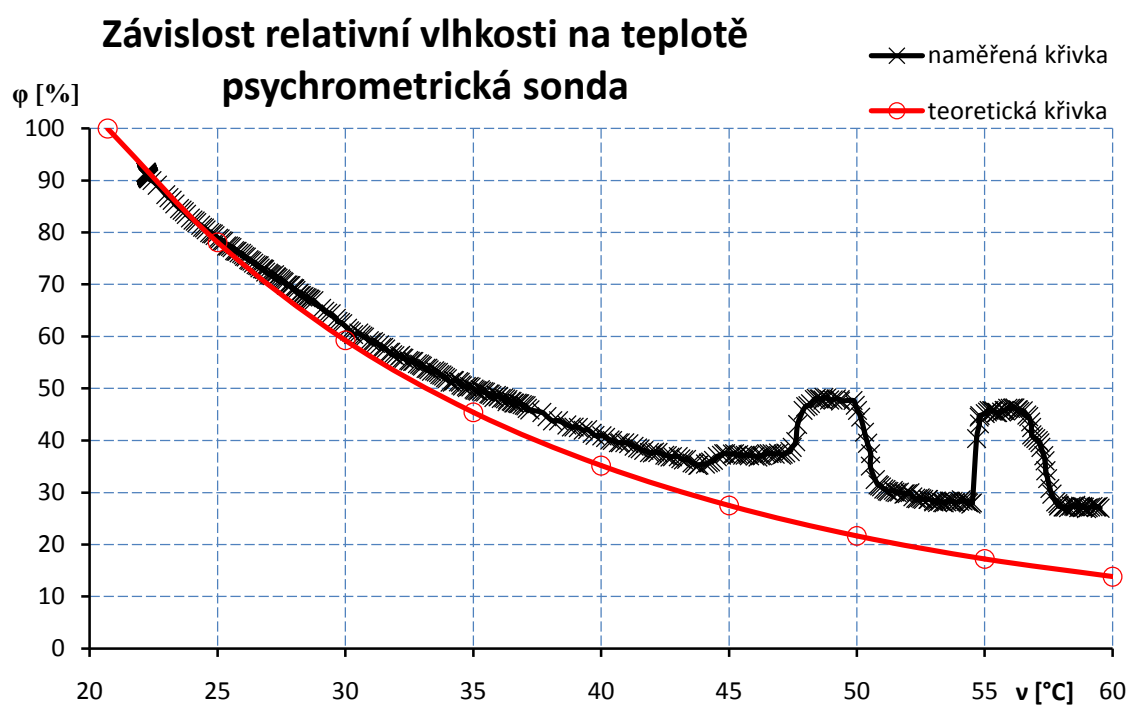
$$\varphi = \frac{\Phi'}{\Phi''} \Rightarrow \Phi_k' = \frac{\varphi * \Phi''}{100} = 18,29 \text{ gm}^{-3} \quad v_r = 20,9^\circ \text{C}$$

Hodnota absolutní vlhkosti Φ'' byla odečtena z tabulek nasyceného vzduchu. Následně byly dopočteny hodnoty relativní vlhkosti vzduchu pro oba senzory od rosného bodu do teploty 60°C. Toto rozmezí bylo voleno úmyslně, protože odpovídá skoro celému rozsahu měření.

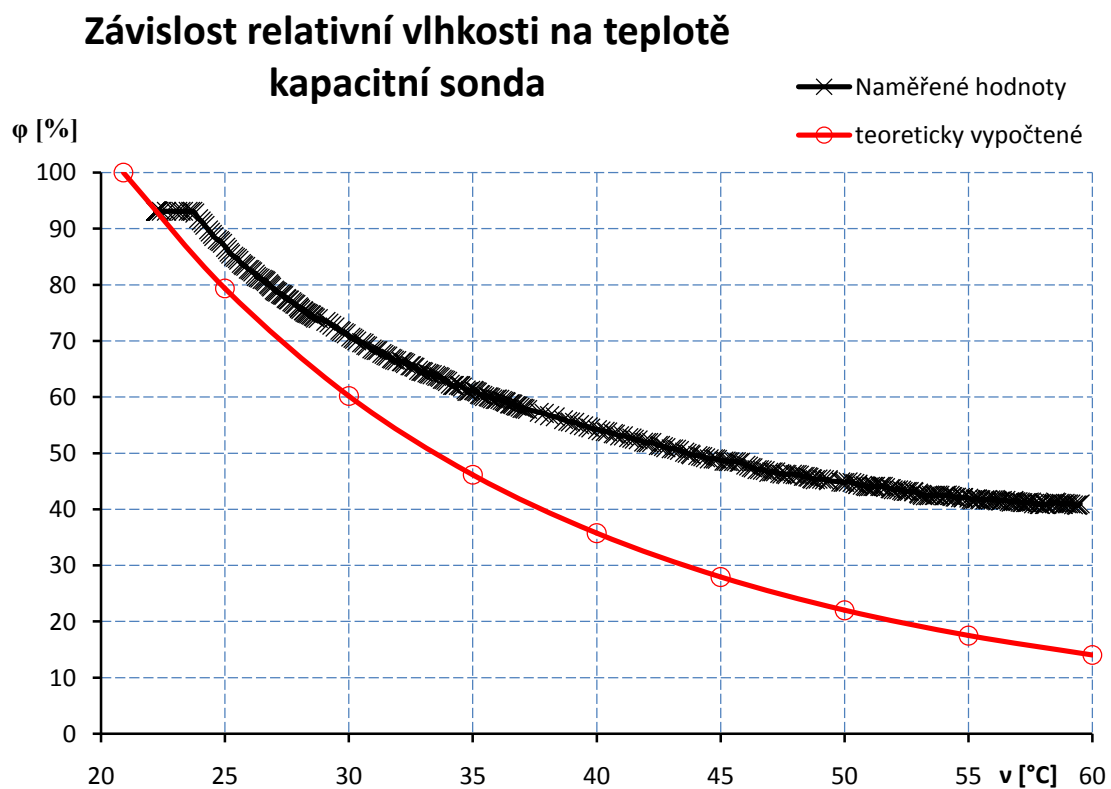
Tabulka 3 - Teoreticky vypočítaná vlhkost

v [°C]	20,70	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00	55,00	60,00
φ_p [%]	100,00	78,13	59,27	45,43	35,19	27,5	21,67	17,24	13,82
v [°C]	20,90	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00	55,00	60,00
φ_k [%]	100,00	79,38	60,22	46,16	35,76	27,95	22,02	17,52	14,05

Seznam naměřených hodnot relativních vlhkostí je v příloze A na stránkách 45-48.



Graf 3 - Závislost RH na teplotě psychrometr - nová komora



Graf 4 - Závislost RH na teplotě kapacitní senzor - nová komora

Shrnutí

Během prvních experimentálních pokusů se nepodařilo naměřit přesně stejnou křivku, která vyšla teoretickým výpočtem. To bylo způsobeno uspořádáním, kde unikl vzduch mimo měřicí komoru přes nucenou cirkulaci psychrometrické sondy a byly použité absorpční materiály uvnitř komory (teplená izolace topné spirály - vata). Z grafu 1 je vidět, že psychometr ještě kopíroval teoretickou křivku, ale po celou dobu byl pod ní. Naměřená závislost postupně začala kopírovat teoretickou závislost relativní vlhkosti na teplotě spočtenou pro výchozí bod změřený v prostředí laboratoře v době experimentu. Na kapacitním senzoru se vytvořila kapka vody, tím došlo ke zkreslení měření. Kapacitní senzor nebyl schopen změřit přesnou hodnotu vlhkosti a proto nekopíroval teoretickou křivku.

Následné experimenty v nově navržené komoře přinesly vylepšení výsledků. To bylo způsobeno vhodným utěsněním komory a umístěním psychrometrické sondy do měřicí komory. To znamená, že vzduch cirkuluje jen v komoře a neuniká mimo. Z grafu 3 psychometru jsou patrné 2 skokové změny vlhkosti ke konci měření, což bylo způsobeno nevhodně navrženým stojánkem pro psychrometrickou sondu, která během měření ukápla do komory vodu ze zásobníku pro zvlhčování mokrého teploměru. Je patrné, že došlo k zlepšení výsledků měření a kopírujeme nebo se dokonce nacházíme nad teoretickou křivkou. Z toho plyne, že se do komory dostává cizí vlhkost, která vzniká při ofukování mokrého teploměru psychometru.

Z grafu 4 kapacitního senzoru je vidět na počátku měření zpoždění způsobené velkou časovou konstantou vlastní přechodové charakteristiky kapacitního čidla. Následně začne senzor slušně kopírovat teoretickou křivku. Na konci měření zůstává být patrný vliv přechodové charakteristiky a naměřená relativní vlhkost je významně vyšší, než teoretický předpoklad. Bylo to způsobeno postupným odpařením vody, která nedopatřením unikla ze zásobníku z psychometru.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a realizovat laboratorní zařízení pro testování čidel vlhkosti vzduchu. Výsledkem jsou 2 laboratorní zařízení, menší a větší měřicí komora. Obě splňují požadavky pro testování čidel vlhkosti. Ve větší měřicí komoře nejdříve došlo k problémům se špatně navrženým stojánkem pro psychrometr. Úpravou stojánku, tedy zvýšením sklonu čidla, byl problém odstraněn. U ohřívače vzduchu měřicí komory proběhlo připojení k systému ALMEMO bez problémů i s následnou kalibrací. Byly vytvořeny měřicí šablony, které zjednoduší sběr dat do počítače a následné vyhodnocení výsledků.

Obecně je známo, že využití psychrometrického snímače je lepší pro malé hodnoty relativní vlhkosti vzduchu, to plyne z jeho konstrukce. Naopak pro vysoké hodnoty relativní vlhkosti je lepší použít kapacitní senzor. Sestavení malé měřicí komory pouze s kapacitním čidlem se ukázalo z prvních zkušeností při výuce jako velmi vhodné řešení.

Literatura

- [1] Ďaďo S., Kreidl M. *Měřicí převodníky fyzikálních veličin*.
Skriptum ČVUT FEL. Praha 1990.
- [2] Klíma M., *Nový systém pohlcování nadměrné vlhkosti*. [cit.10.3.2011].
Dostupné z : <<http://www.stavimedum.cz/article.jsp?art=456&catId=2>>
- [3] Ahlborn CZ. *Vlhkoměry* [cit. 8.4.2011]. Dostupné z:
<<http://www.ahlborn.cz/cs/kategorie/vlhkomery/>>
- [4] Odborné časopisy, AUTOMA č. 11, 2003 *článek Vlhkoměry*. [cit 5.3.2011].
Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28979>
- [5] Zvěřina J., *Konstrukce přípravku pro testování čidel vlhkosti vzduchu*.
Bakalářská práce TUL. Liberec 2009
- [6] Měření vlhkosti vzduchu, ČVUT FEL. [cit. 15.4.2011]. Dostupné z:
<<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/cviceni/Navody%20na%20cviceni/07.Mereni%20vlhkosti.pdf>>
- [7] Ahlborn, *ALMEMO Mamual 8th revised edition*.
Mamual Ahlborn. Holzkirchen 2009.
- [8] Meteocentrum, *Vlhkost vzduchu* [cit. 15.3.2011]. Dostupné z:
<<http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/vlhkost-vzduchu.php>>
- [9] Ahlborn CZ. *Návod k obsluze ALMEMO 2590-2S/-3S/-4S V1.3*.
Ahlborn, Praha 2010.
- [10] TME, Online katalog [cit. 3.5.2011]. Dostupné z :
<<http://www.tme.cz>>
- [11] Buřil R., Ahlborn CZ, *přístroje ALMEMO*.
Prezentaci při školení, Špindlerův Mlýn, 12.4.2011

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

PŘÍLOHY DIPLOMOVÉ PRÁCE

Návrh a realizace laboratorního zařízení pro testování čidel vlhkosti

Bc. Jiří Zvěřina

Rozsah příloh diplomové práce: 4 stran

Seznam příloh

A NAMĚŘENÉ HODNOTY	45
PŘÍLOHY V ELEKTRONICKÉ PODOBĚ	CD

A Naměřené hodnoty

φ_P [%]	φ_K [%]	v [°C]	φ_P [%]	φ_K [%]	v [°C]	φ_P [%]	φ_K [%]	v [°C]
91,6	93,1	22,2	80,5	88,6	24,55	70,6	77,3	27,56
91,6	93,1	22,21	80	88,1	24,69	70,4	77,3	27,6
91,6	93,1	22,21	79,8	87,9	24,77	69,9	77	27,7
91,5	93,1	22,21	79,7	87,7	24,83	69,9	76,8	27,75
91,5	93,1	22,21	79,4	87,4	24,9	69,8	76,6	27,81
91,5	93,1	22,22	78,9	86,7	25,03	69,8	76,5	27,86
91,3	93,1	22,22	78,8	86,3	25,1	69,3	76,1	27,96
91,3	93,1	22,23	78,4	85,8	25,17	69,2	75,9	28
91,2	93,1	22,23	78,3	85,5	25,23	69,2	75,8	28,01
91,2	93,1	22,24	77,4	85,1	25,35	68,9	75,6	28,06
91,2	93,1	22,23	77,4	84,9	25,42	68,3	75,4	28,16
91,1	93,1	22,23	77,3	84,7	25,5	68,3	75,3	28,19
91	93,1	22,23	77,1	84,4	25,56	67,9	75,1	28,23
90,9	93,1	22,24	76,5	83,8	25,66	67,9	75	28,28
90,9	93,1	22,24	76,4	83,6	25,72	67,6	74,9	28,33
90,9	93,1	22,25	76,4	83,4	25,76	67,7	74,8	28,38
90,7	93,1	22,26	76,1	83,3	25,84	67,5	74,7	28,45
90,7	93,1	22,26	76	82,8	25,94	67,4	74,6	28,5
90,7	93,1	22,28	75,7	82,7	26	67,2	74,4	28,56
90,7	93,1	22,28	75,4	82,5	26,06	67,2	74,3	28,6
90,6	93,1	22,28	75,3	82,3	26,12	67	74,1	28,65
90,5	93,1	22,28	74,8	81,9	26,22	66,9	74	28,76
90,5	93,1	22,28	74,6	81,5	26,27	65,4	73,5	29,07
90,5	93,1	22,29	74,5	81,3	26,34	64,9	73,2	29,19
90,4	93,1	22,3	74,1	81,2	26,41	64,5	72,8	29,31
90,3	93,1	22,31	73,8	81	26,5	64,4	72,5	29,44
90	93,1	22,43	73,7	80,9	26,57	63,5	71,9	29,64
89,1	93,1	22,64	73,6	80,8	26,62	62,9	71,7	29,7
87,3	93,1	22,97	73,2	80,6	26,66	62,7	71,5	29,81
86,7	93,1	23,1	73	80,2	26,76	62,5	71,3	29,89
86,2	93,1	23,22	73	80	26,8	61,6	70,7	30,08
85,5	93,1	23,33	72,9	79,8	26,84	61,1	70,5	30,16
84,6	93,1	23,51	72,4	79,6	26,88	60,9	70,3	30,23
84,3	93,1	23,61	72,2	79,1	26,99	60,4	70	30,32
84	93,1	23,7	72	78,9	27,03	60,7	69,7	30,52
83,5	92,8	23,78	71,9	78,8	27,08	60,3	69,6	30,61
82,8	91,8	23,94	71,7	78,7	27,13	60,1	69,2	30,68
82,4	91,4	24,04	71,9	78,4	27,23	59,9	69,1	30,75
82,2	91	24,12	71,5	78,3	27,29	59,2	68,6	30,93
81,9	90,6	24,19	71,4	78,2	27,32	58,9	68,4	31,01
81,4	89,8	24,34	71,2	78,1	27,37	59	68,3	31,1

φ_P [%]	φ_K [%]	v [°C]	φ_P [%]	φ_K [%]	v [°C]	φ_P [%]	φ_K [%]	v [°C]
57,9	67,6	31,42	50,3	61,2	34,91	41,4	54,7	39,65
57,9	67,4	31,49	49,9	61,2	35,03	41	54,5	39,76
57,6	67,3	31,57	49,7	61,1	35,07	40,9	54,2	40,03
57	66,9	31,71	49,6	61	35,14	40,6	54	40,17
57	66,8	31,77	49,5	60,9	35,19	40,1	53,9	40,34
56,5	66,6	31,84	49,8	60,5	35,27	40	53,8	40,44
56,3	66,5	31,93	49,5	60,4	35,32	39,6	53,5	40,67
56,2	66,3	32,11	49,4	60,3	35,41	39,6	53,4	40,75
56,4	66,3	32,16	49,3	60,1	35,48	39,6	53,1	40,92
55,9	66,2	32,23	49	60,1	35,61	39,4	53,1	41,08
55,8	66	32,29	48,9	60	35,66	38,9	52,8	41,29
55,4	65,6	32,47	48,7	59,9	35,73	38,6	52,7	41,42
55,3	65,6	32,53	48,3	59,7	35,8	38,4	52,5	41,52
55,2	65,4	32,62	48,7	59,6	35,9	38,1	52,4	41,67
55,2	65,3	32,67	48,4	59,6	35,97	37,7	52	41,89
54,8	64,8	32,81	48,5	59,7	35,99	37,6	51,9	42
54,7	64,6	32,9	48,1	59,6	36,09	37,8	51,9	42,09
54,5	64,6	32,96	48,2	59,4	36,19	37,7	51,9	42,22
54,3	64,5	33,01	48	59,3	36,26	37,2	51,4	42,49
53,9	64,3	33,15	47,5	59,2	36,32	37,1	51,4	42,58
53,9	64,2	33,22	47,9	59,1	36,35	36,8	51,2	42,69
53,6	64,1	33,27	47,6	58,8	36,48	36,9	51	42,79
53,3	64	33,36	47,5	58,8	36,52	36,9	50,8	43,01
53,4	63,9	33,49	47,2	58,8	36,58	36,5	50,8	43,11
53,2	63,7	33,55	47,2	58,7	36,62	36,3	50,7	43,22
53,1	63,7	33,64	47,2	58,5	36,72	36,4	50,5	43,34
52,7	63,5	33,69	47,1	58,4	36,77	35,7	50,2	43,55
52,6	63,2	33,77	47,1	58,4	36,82	35,6	50	43,65
52,4	63,1	33,84	46,9	58,2	36,91	35,2	49,9	43,78
52,1	63	33,91	46,8	58	36,99	35,3	49,7	43,82
51,9	62,8	33,98	46,7	58	37,06	35,5	49,6	44,08
51,2	62,3	34,09	46,2	57,9	37,11	35,7	49,5	44,19
51,2	62,1	34,18	45,9	57,8	37,21	35,9	49,4	44,28
51,6	62,1	34,23	45,4	57,3	37,68	36,2	49,2	44,39
51,5	62,1	34,26	44,6	57,1	37,88	36,9	49	44,54
51,3	62,1	34,42	43,8	56,7	38,1	37,2	49	44,7
51,2	62,1	34,49	43,8	56,5	38,33	37,5	49	44,79
50,7	62	34,52	43	56	38,66	37,5	48,9	44,87
50,5	61,8	34,58	42,6	55,7	38,83	37,4	48,6	45,13
50,4	61,3	34,73	42,6	55,6	38,94	37,5	48,6	45,22
50,2	61	34,77	42,5	55,5	39,11	37,2	48,5	45,3
50,4	61	34,84	42	55,1	39,3	37,3	48,5	45,38
50,3	61,2	34,91	42,1	54,9	39,47	37,2	48,5	45,53

φ_P [%]	φ_K [%]	v [°C]	φ_P [%]	φ_K [%]	v [°C]	φ_P [%]	φ_K [%]	v [°C]
37,2	48,5	45,63	37,3	48,5	45,38	37,5	44,5	50,54
37,3	48,4	45,74	37,2	48,5	45,53	35,1	44,4	50,53
41,4	54,7	39,65	37,2	48,5	45,63	32,5	44,3	50,72
41	54,5	39,76	37,3	48,4	45,74	31,5	44,2	50,83
40,9	54,2	40,03	37,1	48,4	45,8	31,3	44,1	50,89
40,6	54	40,17	37	47,9	46,02	31,1	44	50,96
40,1	53,9	40,34	36,8	47,7	46,13	30,7	44,1	51,05
40	53,8	40,44	37,1	47,5	46,23	30,6	44,1	51,14
39,6	53,5	40,67	37,1	47,4	46,31	30,3	44,1	51,19
39,6	53,4	40,75	37,5	47,1	46,47	30,2	44,1	51,25
39,6	53,1	40,92	37,5	47,1	46,57	30,4	44,1	51,43
39,4	53,1	41,08	37,5	47	46,68	30,1	44,1	51,49
38,9	52,8	41,29	37,4	46,9	46,8	30	44,1	51,57
38,6	52,7	41,42	37,6	46,6	46,94	30,1	43,9	51,66
38,4	52,5	41,52	37,2	46,7	47,06	29,7	43,7	51,84
38,1	52,4	41,67	37,4	46,7	47,12	29,8	43,7	51,89
37,7	52	41,89	37,6	46,7	47,22	29,8	43,5	51,97
37,6	51,9	42	37,9	46,4	47,39	30	43,5	52,08
37,8	51,9	42,09	38,7	46,3	47,47	29,2	43,5	52,19
37,7	51,9	42,22	39,8	46,3	47,61	28,9	43,4	52,3
37,2	51,4	42,49	43,1	46,2	47,68	28,8	43,2	52,37
37,1	51,4	42,58	45,8	46,3	47,9	29	43,2	52,48
36,8	51,2	42,69	46,5	46,2	48	28,8	43,2	52,54
36,9	51	42,79	46,7	46,2	48,09	28,7	43,2	52,61
36,9	50,8	43,01	47,1	46,1	48,18	28,7	43,2	52,78
36,5	50,8	43,11	47,9	45,9	48,34	28,7	43,1	52,8
36,3	50,7	43,22	48,1	45,9	48,41	28,4	42,9	52,99
36,4	50,5	43,34	48	45,8	48,52	28,2	42,7	53,01
35,7	50,2	43,55	48	45,7	48,57	28,4	42,7	53,12
35,6	50	43,65	47,8	45,5	48,67	28,1	42,5	53,15
35,2	49,9	43,78	48,3	45,4	48,71	28,3	42,4	53,26
35,3	49,7	43,82	48,2	45,3	48,82	28,1	42,5	53,36
35,5	49,6	44,08	47,8	45,4	48,93	28	42,4	53,41
35,7	49,5	44,19	47,8	45,4	49,07	28,2	42,5	53,51
35,9	49,4	44,28	48	45,3	49,19	28,4	42,5	53,62
36,2	49,2	44,39	47,9	45,3	49,34	28,3	42,5	53,67
36,9	49	44,54	47,6	45,1	49,36	28,3	42,6	53,77
37,2	49	44,7	47,7	44,9	49,85	28,1	42,5	53,85
37,5	49	44,79	46,8	44,8	49,94	28,3	42,4	54,02
37,5	48,9	44,87	45,8	44,8	50,02	28,6	42,5	54,08
37,4	48,6	45,13	44,5	44,9	50,15	28,4	42,6	54,15
37,5	48,6	45,22	41,6	44,8	50,3	28,3	42,5	54,27
37,2	48,5	45,3	39,5	44,6	50,42	28,2	42,3	54,33

φ_P [%]	φ_K [%]	v [°C]	φ_P [%]	φ_K [%]	v [°C]
28	42,3	54,37	28,2	41	57,77
27,8	42,2	54,46	27,9	40,9	57,86
28	42,2	54,52	27,6	40,9	57,91
40,4	42,1	54,68	27,4	40,9	57,89
43,2	42,1	54,79	27,2	40,9	58,06
44,5	42,1	54,78	27,2	40,9	58,1
44,8	42,1	54,81	27,2	40,9	58,16
45,2	42	55,02	27,1	41,1	58,28
45,5	41,8	55,11	27,4	41,1	58,39
45,8	41,7	55,17	27,4	41,1	58,47
45,7	41,8	55,27	27,3	41,3	58,52
45,7	41,9	55,3	27,6	41,2	58,56
45,7	41,9	55,36	27,1	41,1	58,67
45,4	41,8	55,46	27,4	41,1	58,75
45,4	41,7	55,5	27,1	40,9	58,83
45,5	41,7	55,66	27,3	40,9	58,83
45,8	41,8	55,76	27,2	41,1	58,9
45,8	41,7	55,79	26,9	41	58,98
46,2	41,7	55,9	27,1	41	59,05
46,2	41,7	56	27,2	41	59,14
46,2	41,8	56,09	27,3	40,8	59,24
46,3	41,6	56,12	27,2	40,8	59,35
46,3	41,5	56,18	27,2	40,7	59,39
45,9	41,5	56,28	27,3	40,8	59,43
45,9	41,5	56,32	27	41	59,51
45,6	41,6	56,37			
45,7	41,6	56,51			
44,9	41,4	56,65			
44,6	41,3	56,72			
43,6	41,4	56,8			
42,5	41,5	56,83			
41,1	41,6	56,84			
40,7	41,4	56,91			
40,4	41,4	57			
40	41,3	57,09			
39,6	41,2	57,16			
38,7	41,2	57,2			
37,1	41,2	57,31			
36,1	41,2	57,36			
34,2	41,2	57,39			
32,7	41,3	57,46			
30,8	41,3	57,55			
29,7	41	57,63			